



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷



افزایش پهنای طیف و میزان جذب گرافن در ترکیب با بلور نانوپلاسمونیک بر پایه گریتینگ نیم‌دایره‌ای فلزی

بنفشه یکتاپرست، حسین شیرکانی

گروه فیزیک، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر

b.vektaparast.physics@gmail.com; shirkani@pgu.ac.ir

چکیده - در این مقاله به منظور تشکیل پلاسمون‌های سطحی، گرافن را در ترکیب با بلور نانوپلاسمونیک ساخته شده از گریتینگ فلزی نیم‌دایره‌ای به کار برده‌ایم. نمودارهای جذب گرافن تحت تأثیر تشدیدهای پلاسمونیک را نسبت به پارامترهای هندسی ساختار و ضریب شکست دی‌الکتریک مورد مطالعه قرار می‌دهیم. استفاده از این ساختار موجب افزایش جذب گرافن تا 28.7% در صد در ناحیه فرسرخ نزدیک و همچنین گستردگی طیف جذبی در نواحی مرئی و سرتاسر فرسرخ نزدیک شد که این میزان و ناحیه طیفی با استفاده از جنس گریتینگ، ضریب شکست دی‌الکتریک و پارامترهای هندسی قابل کنترل هستند.

کلیدواژه- بلور نانوپلاسمونیک، طیف جذبی، گرافن، نواحی مرئی و فرسرخ نزدیک

Enhancing the Absorption and Spectral Width of Graphene Near the Nanoplasmonic Crystal Based on Semicircular Metallic Grating

Banafsheh Yektaparast, Hossein Shirvani

Department of Physics, Persian Gulf University, Bushehr

b.vektaparast.physics@gmail.com; shirkani@pgu.ac.ir

Abstract- In this paper, graphene has been used in combination with a nanoplasmonic crystal made of semicircular metallic grating, in order to creation surface plasmons. We study graphene absorption under the influence of plasmonic resonances according to geometric parameters and dielectric refractive index. The use of this structure increased the absorption of graphene up to 28.7% in the near infrared region and the spread of absorption spectrum in the visible and throughout the near infrared regions that this amount of absorption and spectral region are controlled by grating material, dielectric refractive index and geometric parameters.

Keywords: Absorption Spectrum, Graphene, Nanoplasmonic Crystal, Visible and Near Infrared Regions

مقدمه

گرافن یک تک لایه نازک به ضخامت تقریباً 0.34 نانومتر ساخته شده از کربن می باشد که دارای شبکه لانه زنبوری است. تحرک پذیری بالا و پایداری زیست محیطی، همچنین خواص فوتونیک، مکانیکی و اپتوالکترونیک این شبه فلز با گاف نواری صفر، مثال زدنی است [۱].

طلوع پیشرفت گرافن و مواد بر پایه آن در زمینه ساخت و بهبود عملکرد وسایل اپتیک و اپتوالکترونیک از سال ۲۰۰۸ آغاز شد که تا کنون نانومواد بر پایه گرافن منجر به پیشرفت هایی در ساخت ادواتی مانند سلول های خورشیدی [۲]، آشکارسازها و ترانزیستورهای نوری [۳]، جذب کننده های اشباع برای لیزرهای فوق سریع [۳]، حسگرهای زیستی و گازی [۴] و ... شده است.

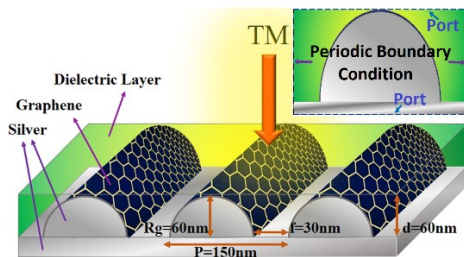
گرافن انعطاف پذیری بالایی برای ترکیب شدن با مواد دیگر را داراست که استفاده از گرافن در کنار ساختارهای فوتونیک یک بعدی و بلورهای نانوپلاسمونیک می تواند جذب $2/3$ درصدی این ماده شفاف را افزایش دهد [۵].

تشدیدهای پلاسمونیک قوی در گرافن در نواحی فروسرخ دور و فروسرخ میانه ایجاد می شود که موجب افزایش جذب در گرافن می گردد و در نواحی مرئی و فروسرخ نزدیک جذب گرافن به طور معمول با جفت کردن گرافن با ساختارهای رزونانسی فلزی یا دی الکتریک افزایش می یابد [۶]. تحرک پذیری بالای حامل های گرافن که موجب اتلاف کم به عنوان یک ماده پلاسمونیک می شود و به علاوه جایگزیدگی نوری بالای پلاسمون گرافن می تواند در پلاسمونیک فلزات نجیب را که جایگزیدگی میدانی نسبی ناچیزی در فروسرخ دارند و همچنین پلاسمون های بر پایه آن ها به دلیل اتلاف بالا و عدم تنظیم پذیری به صرفه نیستند، کامل کند [۷] که موجب افزایش جذب نور در این ناحیه فرکانسی تشدید می شوند. بنابراین به منظور افزایش جذب نور و بازده نشر در این فرکانس ها، برای آشکارسازی و منابع نوری، نانواتن های

گرافنی، ترانزیستورهای پلاسمونی و ... چنین جایگزیدگی بالایی برای مدهای پلاسمونی دارای نقشی عمده است [۷].

ساختار

به منظور بهبود و توسعه عملکرد قطعات نانوفوتونیک و اپتوالکترونیک، به کارگیری گرافن در کنار بلورهای نانوپلاسمونیک شامل فلزات نجیب و دارای گریتینگ، پتانسیل های بالقوه ای در کنترل فرکانس تشدید پلاسمون ها، انتقال پلاسمون های سطحی و ... به ارمغان می آورد.

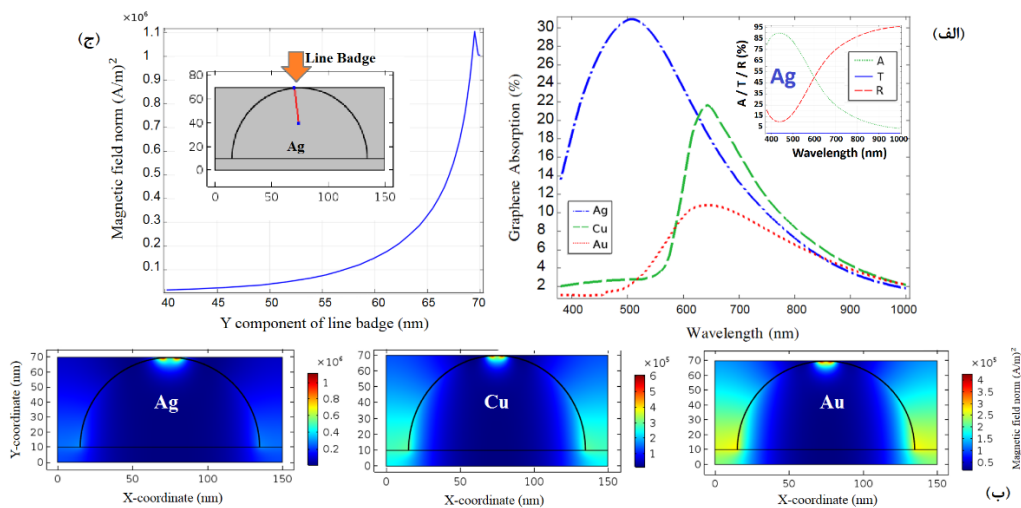


شکل ۱. بلور نانوپلاسمونیک طراحی شده تحت موج قطبیده TM

در بلور نانوپلاسمونیک مورد مطالعه، تک لایه نیم دایره ای گرافن به ضخامت 0.34 nm و شعاع $R_g=60$ nm با ضریب شکست $n_g=3 + i5.446 \lambda/3 \mu m^{-1}$ [۵] سرتاسر گریتینگ فلزی نیم دایره ای به شعاع $59/66$ nm را می پوشاند. ساختار بر زیر لایه ای به ضخامت 10 nm از جنس همان فلز نشانده شده و دی الکتریک با ارتفاع برابر با R_g روی پیکربندی قرار گرفته است. ضخامت های مختلف دی الکتریک بررسی شده و حالت چسبیده به گریتینگ به عنوان برترین حالت برگزیده شده است (شکل ۱). ساختار را تحت تابش عمودی با روش FEM در نرم افزار کامسول شبیه سازی نموده و بر مرزهای چپ و راست شرایط مرزی دوره ای اعمال می نماییم.

بحث و بررسی نتایج

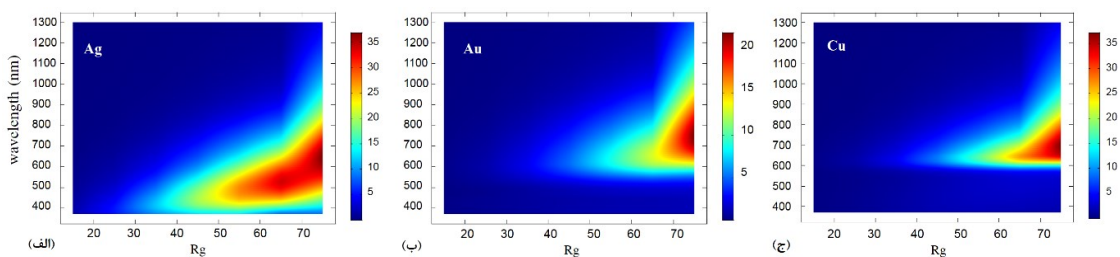
در اینجا هدف خود را بر مبنای افزایش جذب گرافن و کنترل طیف جذبی آن در ناحیه مرئی و فروسرخ نزدیک در راستای گستردگی هر چه بیشتر پهنای باند جذبی، قرار می دهیم. در ابتدا دی الکتریک را هوا ($nd=1$) در نظر می گیریم.



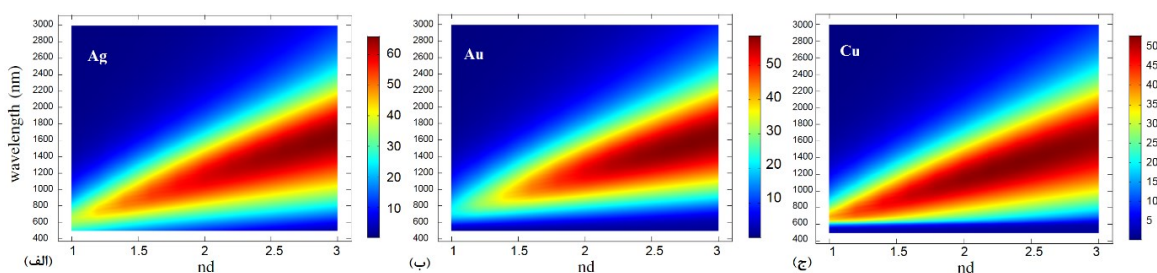
شکل ۲. الف) مقایسه طیف جذبی گرافن در حضور نقره، مس و طلا. ب) مقایسه طرح دو بعدی توزیع شدت میدان مغناطیسی بر حسب فاصله از محور xها در حضور سه فلز نقره، مس و طلا و ج) طرح اندازه شدت میدان مغناطیسی بر حسب مؤلفه y خط نشان در حضور نقره.

شکل ۲. الف) طیف جذب گرافن را در بازه مرئی و اوایل فرورسرخ نزدیک نشان می‌دهد. همانطور که از شکل پیداست بیشینه جذب در استفاده از نقره، مس و طلا به ترتیب به میزان ۳۱، ۲۲ و ۱۱ درصد در طول موج‌های ۵۱۰، ۶۴۵ و نیز ۶۴۵ نانومتر اتفاق می‌افتد. این طول موج‌ها، طول موج تشدید پلاسمون‌های سطحی ایجاد شده در نانوبلور می‌باشند. شکل ۲. ب) طرح دو بعدی توزیع شدت میدان مغناطیسی بر حسب فاصله از محور xهاست که محل ایجاد پلاسمون‌های سطحی را در مرز گرافن-فلز نشان می‌دهد. بیشینه شدت در حضور نقره اتفاق می‌افتد که شکل ۲. ج) طرح اندازه این شدت میدان مغناطیسی بر حسب مؤلفه y خط نشان را نمایش می‌دهد. اکنون با آگاهی از موقعیت پلاسمون‌های سطحی شعاع (Rg) را از ۱۵nm تا ۷۵nm (بیشترین حالت ممکن) بهینه‌سازی می‌کنیم. در تمام حالت‌ها $d=Rg$ است. شکل ۳ طیف جذب گرافن را در بازه

۳۸۰ تا ۱۳۰۰ نانومتر با به کارگیری سه فلز نقره، طلا و مس نشان می‌دهد. چنانچه از شکل پیداست با افزایش شعاع کاهش فاصله میان گریتینگ‌ها و نیز افزایش برهم‌کنش نور-گرافن، جذب افزایش می‌یابد که نتیجه افزایش برانگیختگی پلاسمون‌های سطحی در مرز گرافن-فلز می‌باشد، تا در شعاع ۷۵nm برای هر سه فلز به بیشینه جذب ۳۷، ۲۲ و ۵/۳۷ درصد به ترتیب با حضور نقره، طلا و مس می‌رسیم. در این شعاع گریتینگ‌ها کاملاً به هم چسبیده هستند و تشدید پلاسمون‌های سطحی در مرز آن‌ها موجب بیشینه جذب گرافن می‌شود که نقره در کنار گرافن گسترده‌ترین باند جذبی را نشان می‌دهد. با انتخاب مقدار بهینه $Rg=75nm$ ، جذب گرافن را در ضرایب شکست دی‌الکتریک از ۱ تا ۳ بررسی می‌کنیم. در حضور نقره و طلا میزان جذب گرافن برای ضریب شکست ۳ به بیشینه مقدار به ترتیب حدود ۶۶ و ۵۸/۵ درصدی می‌رسد (شکل ۴. الف و ب) که



شکل ۳. طیف جذب گرافن بر حسب تغییرات شعاع (Rg) در حضور سه فلز نقره، طلا و مس.



شکل ۴. طیف جذب گرافن برحسب تغییرات ضریب شکست دی الکتریک در حضور سه فلز (الف) نقره، (ب) طلا و (ج) مس.

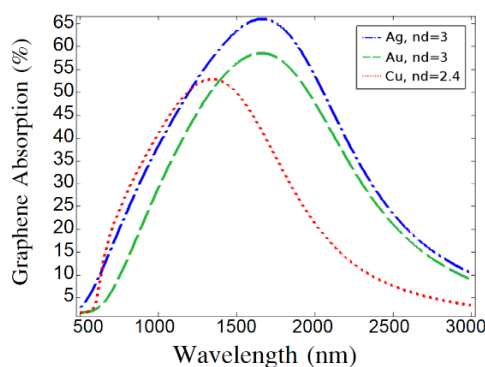
پلاسمون‌ها در این نواحی با استفاده از پارامترهای هندسی، جنس گریتینگ و ضریب شکست دی الکتریک، از نتایج حاصل می‌باشد که با ارائه نانو ساختاری بهینه به منظور افزایش برهم کنش نور-گرافن در ناحیه گسترده‌ای از طیف، می‌توان دامنه استفاده از گرافن را در نانو ساختارهای فوتونیک و اپتیکی گسترش داد.

مرجع‌ها

- [1] Geim, Andre K., and Konstantin S. Novoselov. "The rise of graphene", Nature materials, Vol. 6, No. 3, pp. 183-191, 2007.
- [2] Wang, Xuan, Linjie Zhi, and Klaus Müllen. "Transparent, conductive graphene electrodes for dye-sensitized solar cells", Nano letters, Vol. 8, No. 1, pp. 323-327, 2008.
- [3] Chang, Haixin, and Hongkai Wu. "Graphene-based nanomaterials: Synthesis, properties, and optical and optoelectronic applications", Advanced Functional Materials, Vol. 23, No. 16, pp. 1984-1997, 2013.
- [4] Joe, Daniel J., et al. "Surface Functionalized Graphene Biosensor on Sapphire for Cancer Cell Detection", Journal of nanoscience and nanotechnology, Vol. 16, No. 1, pp. 144-151, 2016.
- [5] Yektaparast, Banafsheh, and Hossein Shirvani. "Controlling Optical Absorption of Graphene in Near-infrared Region by Surface Plasmons", Plasmonics, Vol. 13, No. 5, pp. 1623-1630, 2018.
- [6] Guo, Chu-Cai, et al. "Experimental Demonstration of Total Absorption over 99% in the Near Infrared for Monolayer-Graphene-Based Subwavelength Structures", Advanced Optical Material, Vol. 4, No. 12, pp. 1955-1960, 2016.
- [7] Huang, Shenyang, et al. "Graphene plasmonics: Physics and potential applications", Nanophotonics, Vol. 6, No. 6, pp. 1191-1204, 2016.

این بیشینه جذب در حضور مس تا حدود ۵۳ درصد در ضریب شکست ۲/۴ واقع می‌شود (شکل ۴.ج). لازم به ذکر است که در هر سه مورد با زیاد شدن ضریب شکست جابه‌جایی سرخی را برای طول موج بیشینه جذب از بازه مرئی به سمت فروسرخ نزدیک شاهد هستیم.

با توجه به شکل ۵، به کارگیری دو فلز نجیب نقره و طلا به جای مس علاوه بر افزایش بیشینه جذب گرافن، جابه‌جایی سرخی را در طیف به دست می‌دهد که استفاده از فلز نقره با طولانی‌ترین زمان واپاشی دامنه پلاسمونی، گسترده‌ترین باند طیف جذبی را به همراه بیشینه جذب رقم می‌زند.



شکل ۵. طیف جذب گرافن در حالت بهینه برای نقره، طلا و مس

نتیجه‌گیری

در این مقاله تاثیر بلور نانوپلاسمونیک شامل گریتینگ نیم-دایره‌ای از جنس سه فلز نجیب را بر جذب گرافن مورد مطالعه قرار داده‌ایم. افزایش جذب گرافن به میزان ۲۸/۷ برابر در طول موج‌های فروسرخ نزدیک، گستردگی چشم‌گیر پهنای طیف جذبی گرافن که قسمتی از ناحیه مرئی و فروسرخ نزدیک را در برمی‌گیرد، کنترل فرکانس تشدید